

特集

feature

ストレングス&コンディショニングにおけるスポーツ関連脳振盪の予防戦略

越田 専太郎,¹ Ph.D., CSCS, ATC, JSPO-AT

¹ SBC東京医療大学健康科学部整復医療・トレーナー学科 教授

1. はじめに

スポーツ活動時に生じる脳振盪は、アスリートの健康に深刻な影響を及ぼす可能性がある。ラグビーなどの激しい身体接触を伴うスポーツでは、そのリスクが高まる傾向にあり、頻繁なタックルや衝突が主な発生要因となる(40)。また、サッカー競技においても選手同士や地面との衝突に加えて、ヘディングが原因で脳振盪が発生することが指摘されている。さらにボクシングや柔道、レスリングなどの格闘技系スポーツでは、直接的な打撃や投技による転倒からの脳振盪リスクが高いことが報告されている(4,30,52)。

脳振盪はアスリートの脳機能に長期的な影響を及ぼすため、健康上の大きな懸念事項である。そのため、特定された危険因子を排除・修正することで、受傷リスクを最小限に抑えることが求められる。脳振盪発生に関連する修正可能な危険因子としては、頸部筋力、頸部ステイフネス、タックルや転倒スキル、バランス能力、心理的要因などが挙げられている。このような危険因子を適切に管理し、脳振盪の予防を図るためには、医師をはじめとする医療従事者のみならず、ストレングス&コンディショニング(S&C)コーチなど、非医療資格者も含めた多職種連携が必須である。本論では、先行研究を概観し、スポーツ関連脳振盪の予防戦略において、S&Cコーチが果たすべき具体的役割について論じた。

2. 頸部筋力の強化

脳振盪は通常、頭部への直接的な打撃または間接的な力による脳の急激な動きによって生じる。この受傷メカニズムを考えると、頸部周囲筋群の筋力強化およびそれに伴う安定性の向上により、衝突時の頭部運動が抑制され、ひいては脳振

盪発生リスクが低減することは十分に考えられる。実際に、スポーツ現場では頸部筋トレーニングが頭部外傷予防の有効な戦略であると捉えられることが多い(20)。S&Cコーチは、効果的な頸部筋の強化プログラムの立案と適切な介入を通じて、脳振盪の予防戦略に貢献することが期待される。

S&Cコーチは、頸部トレーニングとして、マシンエクササイズ、徒手抵抗やレジスタンスバンド、ハーネスを用いた静的および動的エクササイズを用いることが多い(19) (図1)。プレートロード式の4ウェイネックマシンはマシンエク

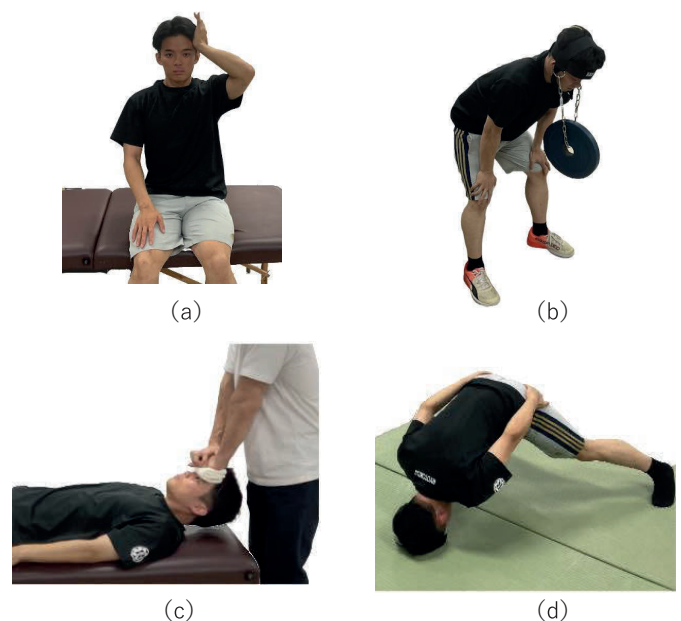


図1 頸部筋力エクササイズの例：(a)セルフエクササイズ、(b)ハーネスを用いたエクササイズ、(c)パートナーエクササイズ、(d)ブリッジエクササイズ。

ササイズの一例である。マシンエクササイズの利点として、頸部の屈曲、伸展、および左右の側屈を含む運動において、安全かつ段階的に負荷調整できることがある。ただし、高価であり予算によっては利用できないことや回旋運動が難しいこと、機器の設置にはある程度の面積を必要とするという制限もある。一方で、おそらく最も費用対効果の高い頸部筋トレーニングは、セルフまたはパートナーの徒手抵抗による等尺性エクササイズであろう。また、ブリッジエクササイズも費用対効果の高いエクササイズであり、レスリング競技では伝統的に取り入れられている(53)。これまでに頸部筋トレーニングプログラムは、トレーニング初心者から競技アスリートの幅広い対象において筋力向上をもたらすことが実証されている(19)。一般的な頸部筋トレーニングでは、各エクササイズを8~12回、1~3セット、週に1回以上行なうことが推奨されている(32)。これらのエクササイズの実施には頸部損傷リスクが伴うため、S&Cコーチの適切な監視下で実施することが望ましい。このことは、アスリートのプログラムへの参加率向上にも繋がると考えられている(1)。

また、頸椎を安定させる目的で頸部深層筋群の持久力向上トレーニングを実施する場合もある。背臥位にて空気圧を利用した圧バイオフィードバック装置をアスリートの頸椎下に置き、顎を引く運動(いわゆるチンイン動作)を実施させるエクササイズが用いられている(図2)。アスリートには、頸部下に設置した装置のカフ圧を20~30mmHg程度まで上昇させ、これを確認しながら数秒~10秒程度維持するという形で実施することが多い。一般的に、リハビリテーションで用いられるエクササイズではあるが、健康な大学生に対しても頸部筋持久力を向上させたことが報告されている(23)。

ただし、頸部筋トレーニングが脳振盪リスクを確実に減少させるかについては議論の余地がある。Mihalikら(32)は、ユース世代のアイスホッケー選手において、頸部筋力と衝突時の頭部加速度との間に統計的に有意な関連を見出せなかったと報告している。Schmidtら(43)のアメリカンフットボール選手を対象とした研究でも同様に、頸部筋力と衝突時の加



図2 頸部の深層筋エクササイズの実例:頸部下に設置したカフ圧を確認しながら、チンイン姿勢を維持させる。

速度に関連を認めなかった。一方で、サッカーにおける(意図的な)ヘディング動作では、頸部筋力が高く、頸部周径が大きいアスリートでは、ボール衝突時の頭部加速度が小さくなることを示した研究が散見される(39)。Collinsら(8)は、高校生アスリートによる大規模コホート研究(n=6,662)により、頸部筋力の大きさが脳振盪発生リスクと関連することを示した。また、ラグビー選手を対象とした研究では、高い頸部伸展筋力が脳振盪発生の低下に関与したことも報告されている(14)。一方で、近年のメタアナリシスでは頸部筋力と脳振盪発生リスクとの関連や、頸部筋トレーニングによる脳振盪発生の低減効果を支持するエビデンスは不十分であることを指摘している(10,13,15)。このように頸部筋力は脳振盪の予測因子となりうるものの、筋力向上による予防の有効性について確証は得られていない。さらにBakerら(2)は大学生アスリートを対象に頸部深層筋群の持久力と脳振盪発生との間には統計学的に有意な関連は認められなかったことを報告している。よって、S&Cコーチは頸部筋トレーニングの重要性を認識しつつも、そのトレーニング効果について過信せず、あくまで包括的な予防戦略の一部として捉えるべきである。さらに、脳振盪の発生には、競技種目、競技レベル、ポジション、ルールなどの要因に加え、性別や年齢、心理的要因といった個体差とも複合的に関連することに留意する必要があるだろう。

3. 頸部スティフネスの向上

アメリカンフットボールを対象とした研究では、頸部スティフネス(一定の衝撃が加わった後の頸部運動に抵抗する能力)が高いアスリートにおいて、頭部への衝撃が小さくなることが報告されている(43)。この結果は、頸部スティフネス向上の取り組みが脳振盪予防に繋がる可能性を示唆している。これまでに、頸部スティフネスは等尺性頸部筋力と関連し、筋力が大きい場合にはスティフネスも高くなることが示されている(12,51)。しかし、筋力トレーニングによる等尺性筋力向上が必ずしも頸部スティフネスの向上に繋がらないことも報告されている(29)。したがって、脳振盪予防の観点からは、頸部筋力向上を目的としたトレーニングプログラムに加えて、頸部スティフネス向上を目的としたトレーニングの導入を考える必要がある。

頸部スティフネスを向上させるために最も有効なトレーニングについてのコンセンサスは得られていないが、徒手により抵抗を多方向から加える方法や、バランスボールに頭部を置き、負荷を加える方法などが提案されている(図3)。さらに近年、Peekらの研究(37,38)では脳振盪予防の戦略として、Versteegh roll and tuck neck-flexor exerciseによる頸部の神経筋協調トレーニングを提案している(図4)。このエクサ

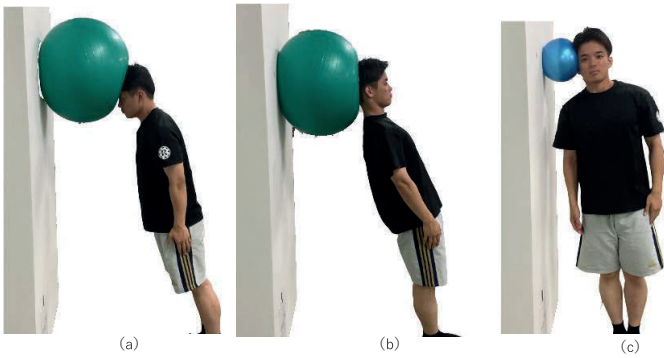


図3 頸部の神経筋協調エクササイズ例：(a)頸部屈曲を強調したエクササイズ、(b)頸部伸展を強調したエクササイズ、(c)頸部側屈を強調したエクササイズ。ボールのサイズなども状況により変化させる。



図4 Roll and tuck neck-flexorエクササイズ：頸部を屈曲位に保持したまま、両脚を抱えて後方に転がる動作を繰り返す。後述する柔道の受身の基本動作に類似している。

イズでは、アスリートは地面に座り、膝を抱えたまま、顎を引き、頭を地面や床につけないようにしながら、できるだけ速く前後に転がるように指示される。研究結果は、これらのエクササイズの実施が、ユース世代のサッカー選手におけるヘディング時の頭部加速度や脳振盪の発生率を減少させたことを示している(37,38)。

4. 適切な動作スキルの獲得

効果的に脳振盪予防の戦略を進めるには、各競技における脳振盪の具体的な受傷メカニズムに即した適切なスキル獲得が不可欠である。例えば、ラグビー競技では、特定のタックル動作が、脳振盪発生の危険因子であることが示されている(16,50)。S&Cコーチは、技術コーチと連携し、ウェイトトレーニングルームにおいても、適切なタックル動作やブロックのポジショニングスキルの獲得を促すプログラムを実施することで、脳振盪リスク低減に貢献できる可能性がある。

安全なタックル動作では、頭でリードするのではなく肩で接触することがきわめて重要である(47)。さらに先行研究は、ボールキャリア(ボールを持って前に進む選手)の正しい側に頭を置くこと、細かいステップで肩からタックルを実施すること、重心を軸足の前に位置させることが脳振盪リスク

を低下させる可能性を指摘している(50)。高校生アメリカンフットボール選手を対象に、防具の装着、タックル技術、脳振盪・熱中症や突然死などスポーツで起こりうる外傷・疾病などの情報を含む包括的な教育プログラム(Heads Up Training)を実施したところ、脳振盪発生率が約30%減少したことが報告されている(45)。さらに、適切なタックルスキル獲得を目的としてヘルメットなしで行なうタックル技術トレーニング(Helmetless Tackling training: HuTT)も、大学生や高校生アスリートにおいて有効であることも示されている(47,48)。ヘルメットの着用は、アスリートに安全感を与え、それが頭部からタックルするというリスク補償行動に繋がる可能性がある。HuTTの導入は、ヘルメットを着用しないことで、アスリートに安全意識を高めさせ、より安全なタックル技術の選択を促し、その結果として頭部への衝撃は低減するという考えに基づいている。コーチやアスレティックトレーナーと協力し、これらのスキルプログラムを日常の練習に組み込むことが脳振盪外傷予防に有効である可能性がある。

さらに、転倒時の頭部衝撃への対応も考慮する必要がある。柔道の「受身(うけみ)動作」のように、武道で用いられる転倒時の衝撃緩衝スキルは、頭部と地面の直接的な接触を防ぎ、衝撃の影響を最小限に抑えることができる(27)。受身動作では、頸部屈曲位を保持し頭部が地面に直接接触することを防ぎ、腕と脚を利用して衝撃力をより広い表面積に分散させ衝撃を吸収する(図5)。柔道における頭部外傷は、初心者によく発生することが報告されており、これには受身技術の関連が指摘されている(22)。実験的にも後方に投げられた際の頭部加速度や頸部角運動量は、熟練者と比較して初心者で大きくなることが示されている(25,33)。これらの結果は受身技術の向上が、プレー時の転倒により地面と頭が接触することで生じる脳振盪のリスクを低減できる可能性を示唆している。S&Cコーチはこのような動作スキル獲得を促進するだけでなく、それを可能にする身体機能の向上にも貢献できる。さらに、アスリートは疲労している時でも適切な動作を遂行することが求められるため、S&Cコーチはスキルトレーニングを通常トレーニングプログラムに取り入れ、疲労時におい

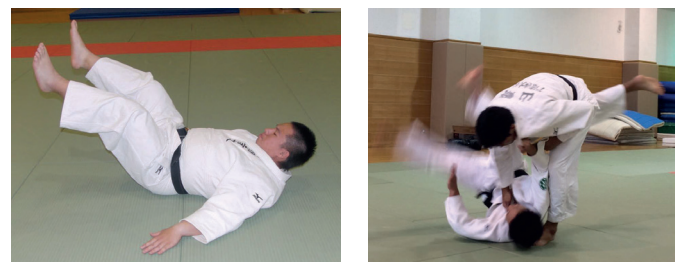


図5 柔道の受身動作：投技に対して外傷を防ぐ目的で実施される。頸部屈曲位を保持して頭部接触を防ぎ、腕と脚の動作により衝撃力を分散させている。

ても適切な動作が実施できるよう促すことが望ましい。

5. 神経筋ウォームアッププログラムの導入

神経筋トレーニング(Neuromuscular Training : NMT)ウォームアッププログラムは、脳振盪の予防対策に不可欠である。第6回国際スポーツ脳振盪会議(2022年10月アムステルダム)での「スポーツにおける脳振盪に関する共同声明」において、NMTウォームアッププログラムの実施が、スポーツ関連脳振盪の予防に繋がることが示されている(36)。また、Eliasonら(13)によるシステマティックレビューおよびメタアナリシスでは、神経筋ウォームアッププログラムを実施することで、バランスと固有受容感覚が向上し、脳振盪の発生率が32~62%減少すると報告されている。

NMTウォームアッププログラムには、バランストレーニング、レジスタンストレーニング、プライオメトリックス、さらに競技特異的な着地動作やカッピング動作が含まれる(18)。プログラムの進行は、エクササイズの複雑さを高めることや、所定の反復回数を増加させることで行なわれる。また、年齢層に応じてプログラムの難易度が調整される。NMTウォームアッププログラムは、多くの場合、固有受容感覚や反応時間、運動効率の向上を目的としている。また、NMTウォームアッププログラムにより、アスリートはスポーツ時の身体負荷に備えることができる。例えば、バランスエクササイズは、アスリートの安定性を維持する能力を向上させ、転倒を防ぐことや、衝撃を最小限に抑えるために重要であると考えられている。また、着地やカッピング動作を取り入れることで、アスリートは、急な方向転換や速度の変化、予期せぬ動きへの対応や、衝突リスクを回避する能力を高め、脳振盪リスクを低減できる可能性がある。Eliasonら(13)は、NMTウォームアッププログラムの成功には、エクササイズの内容に加えて、通常のトレーニングプログラムに適切に組み込むことが重要であることを強調している。S&Cコーチは競技特異性、アスリート個々の身体プロファイル、全体的なトレーニング負荷-量などの要素を考慮しながら、ニーズに合わせたプログラムを立案し、適切に調整する役割を担うべきである。

6. ビジョントレーニングの導入

注意、予測、反応時間、意思決定などの認知機能は、脳振盪に繋がる状況を回避する能力と関連する可能性がある。また、視覚運動の低下は、衝突の危険性を予測する力を低下させ、脳振盪リスクを高める恐れがある(26)。そのため、ビジョントレーニングにより眼球運動や視空間認知、手と眼の協応動作といった視覚機能を向上させることが、脳振盪のリスク軽減に有効な可能性がある。

ビジョントレーニングには、迅速な意思決定と素早い反応時間を必要とするようにデザインされたドリルを用いることが多い。これには、動く物体を追跡し、衝突を予測する能力を向上させ、空間認知や反応を高めるものが含まれる。また、視覚トレーニングツールを使用し、静止視力や動体視力、眼球運動、深視力、瞬間視、手と眼の協応動作などを高める方法もある(7)。脳振盪を予防するためには、危険を予見し、素早く的確な判断を下し、その上で回避動作を遂行する、頸部筋群を予め収縮させるなどの適切な反応を行なう能力を高める必要がある。そのため先行研究は、ビジョントレーニングプログラムは、単に視覚刺激を与えるだけでなく、適切な視覚的フィードバックを運動させた、より高度な認知処理能力を要求するドリルを取り入れることが重要であると指摘している(7)。

ただし、現在のところスポーツ関連脳振盪のリスク低減において、ビジョントレーニングの有効性を明確に裏づけるエビデンスについては不足している(26)。青少年のアイスホッケー選手では、ビジョントレーニングが頭部の角加速度を減少させたことが示されているが、高校生アメリカンフットボール選手ではその効果は明らかではなかった。対照的に、大学生アメリカンフットボール選手を対象とした研究では、ビジョントレーニングの脳振盪リスク軽減を支持するエビデンスが得られている(17,24)。また、ビジョントレーニングの脳振盪の予防効果は、熟練したアスリートにおいて顕著に現れたことも注目に値する(44)。初心者アスリートは、衝突時の衝撃に耐えるために必要な身体能力や、危険性の高い状況を認識するために必要な基本スキルが十分ではない。そのためS&Cコーチは、初心者や非熟練アスリートには基礎体力やスキルの獲得を優先させ、ビジョントレーニングについては段階的な導入を検討すべきである。

7. ウェアラブルセンサ・AIテクノロジーの活用

テクノロジーの進歩によりスポーツ外傷予防戦略の強化が期待されている。頭部外傷予防の観点からは、ヘルメット、マウスガード、ヘッドバンドに埋め込まれたウェアラブルセンサを用いて、練習や試合中の頭部に加わる衝撃の頻度、負荷、方向を計測することが可能である。例えば、ヘルメット衝撃遠隔測定システム(Head Impact Telemetry System : HITS)などは、アメリカンフットボール選手の頭部衝撃データをリアルタイムでモニタリングできるテクノロジーの一例である(11)。また、近年ではラグビーやサッカー競技で、キャップやマウスガードに加速度計およびジャイロセンサを内蔵したウェアラブルセンサが使用されている(21) (図6)。これらの機器は、アスリートの自然な動作を妨げることなく、頭部衝撃をモニタリングすることを可能にしている。このようなスポー



図6 頭部衝撃を測定するウェアラブルセンサの例：(a) マウスガード内蔵型(Prevent Biometrics社製)、(b) スカルキャップ内蔵型(Reebok社製)。

ツ現場で応用されるテクノロジーが、アスリートの安全とパフォーマンスの最適化を促すことが期待されている。実際に、ワールドラグビーでは、これらのテクノロジーにより脳振盪を早期に検知し、迅速に医療サポートに繋げる試みが始まっている(54)。

さらに、近年、元スポーツ選手の慢性外傷性脳症(Chronic traumatic encephalopathy : CTE) (35)が注目されることで、頭部衝撃の繰り返しのアスリートの健康に与える影響についての懸念が高まっている。これまでの研究では、一過性の強い衝撃だけでなく、subconcussive (脳振盪が生じない程度の) 衝撃の積み重ねが将来的な健康問題に繋がる可能性が指摘されている。また、衝撃に繰り返し曝露されることにより、脳の回復力が弱まり、脳振盪発生のリスクが高まることも示唆されている(34,42)。S&Cコーチが、ウェアラブルセンサを活用してアスリートの頭部衝撃をモニタリングし、そのデータを基にトレーニングプログラムを最適化することで、スポーツ関連脳振盪のリスクを低減できるかもしれない(4)。また、近年ではモバイルアプリやクラウドベースのプラットフォームを使用することで、リアルタイムデータ分析と共有が可能になっている。さらに、人工知能(Artificial Intelligence: AI)によるアルゴリズムが頭部衝撃データの予測と分析に導入され始めており、頭部衝撃のプロファイルと対象情報に基づいてスポーツ関連脳振盪リスクを定量化し、個別化された予防プログラムの策定および介入が実施できる未来が予想されている(3,5)。

ただし、ウェアラブルセンサを用いた頭部衝撃モニタリングには、センサの種類により精度が異なること、偽陽性や偽陰性の問題があること、脳振盪やsubconcussive 衝撃の閾値がいまだ定まっていないことに注意する必要がある(9,31)。S&Cコーチはテクノロジーに関する最新情報を常にアップデートしつつ、スポーツ関連脳振盪予防への介入についてはウェアラブルセンサからの情報だけに依存せず、コーチ、アスレティックトレーナー、医療資格者などの他のスタッフとのコミュニケーションを重視する必要がある。

8. 脳振盪予防教育の導入

スポーツ関連脳振盪の二次予防の観点から、アスリート、コーチ、保護者に対して脳振盪の症状や報告の重要性を教育し、早期発見と適切な管理を促すことが必要である。また、アスリートは適切な治療と段階的なリハビリテーションの重要性を理解し、安全にスポーツに復帰することの必要性を認識する必要がある。多くの場合、医師を含む医療資格者やアスレティックトレーナーが中心となり、アスリートの治療や競技復帰までのプロトコルに関与する。しかし、スポーツ関連脳振盪の予防や管理にはS&Cコーチを含むすべてのチームスタッフがかかわるべきである。

これまでの研究では、教育的介入後にアスリートの脳振盪症状の報告が向上し、一定の効果が認められたことが示されている(46)。ただし、教育プログラムの介入方法、期間、内容、効果の評価方法は研究によって異なるため、結果の解釈には注意が必要である(27)。また、スポーツ関連脳振盪予防への教育的介入も包括的に実施すべきであり、単にアスリートやコーチに教育シートやビデオを提供するだけでは望ましい予防効果を得ることは難しいことや(41)、継続的な教育介入の必要性(46)も示されている。脳振盪予防教育の効果を高めるためには、ステークホルダーが協力し、アスリートの環境や持続可能性を考慮した上でプログラムを立案することが求められる。

脳振盪予防の教育に加えて、チームスタッフ全員が脳振盪の報告、治療、適切な競技復帰プロトコルについて基礎知識を身につけ、チーム全体でアスリートのウェルフェア(welfare)をサポートする文化を醸成する必要がある。アスリートが勝利へのプレッシャーに晒されていることを認識し、競技至上主義を改め、アスリートの健康と安全の重要性を強調する方針を策定することが不可欠である。さらにS&Cコーチ自身がスポーツ関連脳振盪の徴候や症状を認識し理解するための学習を継続する態度が求められる。

9. まとめ

S&Cコーチは、アスリートの頸部筋力、頸部スティフネス、バランス機能を強化し、動作スキル向上に導くプログラムの立案および実行を通じて、アスリートのスポーツ関連脳振盪リスクの軽減に重要な役割を果たすことができる。また、これからのS&Cコーチには、ウェアラブルセンサやAI技術を活用し、個別化されたトレーニングプログラムを開発することで、頭部外傷の発生率と重症度を大幅に減少させることが期待される。また、S&Cコーチはチームスタッフと連携し、継続的な脳振盪教育を含む包括的なサポートを提供することに加えて、脳振盪予防とパフォーマンスの最適化を両立するために、リスクの高い状況での負荷を軽減し、全体的なトレー

ニング目標を損なうことなく、脳振盪予防に効果的なプログラムを導入することが求められる。◆

参考文献

1. Alricsson M, Harms-Ringdahl K, Larsson B, Linder J, Werner S. Neck muscle strength and endurance in fighter pilots: effects of a supervised training program. *Aviat Space Environ Med*. 75(1):23-28. 2004.
2. Baker M, Quesnele J, Baldisera T, Kenrick-Rochon S, Laurence M, Grenier S. Exploring the role of cervical spine endurance as a predictor of concussion risk and recovery following sports related concussion. *Musculoskelet Sci Pract*. 42:193-197. 2019.
3. Castellanos J, Phoo CP, Eckner JT, Franco L, Broglio SP, McCrea M, et al. Predicting Risk of Sport-Related Concussion in Collegiate Athletes and Military Cadets: A Machine Learning Approach Using Baseline Data from the CARE Consortium Study. *Sports Med*. 51(3):567-579. 2021.
4. Champagne AA, Distefano V, Boulanger M-M, Magee B, Coverdale NS, Gallucci D, et al. Data-informed Intervention Improves Football Technique and Reduces Head Impacts. *Med Sci Sports Exerc*. 51(11):2366-2374. 2019.
5. Chidambaram S, Maheswaran Y, Patel K, Sounderajah V, Hashimoto DA, Seastedt KP, et al. Using Artificial Intelligence-Enhanced Sensing and Wearable Technology in Sports Medicine and Performance Optimisation [Internet]. Vol. 22, *Sensors*. MDPI; 2022.
6. Chun BJ, Furutani T, Oshiro R, Young C, Prentiss G, Murata N. Concussion Epidemiology in Youth Sports: Sports Study of a Statewide High School Sports Program. *Sports Health*. 13(1):18-24. 2021.
7. Clark JF, Colosimo A, Ellis JK, Mangine R, Bixenmann B, Hasselfeld K, et al. Vision training methods for sports concussion mitigation and management. *J Vis Exp*. (99):e52648. 2015.
8. Collins CL, Fletcher EN, Fields SK, Kluchurosky L, Rohrkemper MK, Comstock RD, et al. Neck strength: a protective factor reducing risk for concussion in high school sports. *J Prim Prev*. 35(5):309-319. 2014.
9. Cortes N, Lincoln AE, Myer GD, Hepburn L, Higgins M, Putukian M, et al. Video Analysis Verification of Head Impact Events Measured by Wearable Sensors. *Am J Sports Med*. 45(10):2379-2387. 2017.
10. Daly E, Pearce AJ, Ryan L. A Systematic Review of Strength and Conditioning Protocols for Improving Neck Strength and Reducing Concussion Incidence and Impact Injury Risk in Collision Sports; Is There Evidence? *J Funct Morphol Kinesiol*. 12;6(1). 2021.
11. Duma SM, Manoogian SJ, Bussone WR, Brolinson PG, Goforth MW, Donnerwerth JJ, et al. Analysis of real-time head accelerations in collegiate football players. *Clin J Sport Med*. 15(1):3-8. 2005.
12. Eckner JT, Oh YK, Joshi MS, Richardson JK, Ashton-Miller JA. Effect of Neck Muscle Strength and Anticipatory Cervical Muscle Activation on the Kinematic Response of the Head to Impulsive Loads. *Am J Sports Med*. 42(3):566-576. 2014.
13. Eliason PH, Galarneau J-M, Kolstad AT, Pankow MP, West SW, Bailey S, et al. Prevention strategies and modifiable risk factors for sport-related concussions and head impacts: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 57(12):749-761. 2023.
14. Farley T, Barry E, Sylvester R, Medici AD, Wilson MG. Poor isometric neck extension strength as a risk factor for concussion in male professional Rugby Union players. *Br J Sports Med*. 56(11):616-621. 2022.
15. Garrett JM, Mastroiocco M, Peek K, van den Hoek DJ, McGuckian TB. The Relationship Between Neck Strength and Sports Related Concussion in Team Sports: A Systematic Review with Meta-Analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*. 53(10):585-593. 2023.
16. Gellner RA, Campolettano ET, Rowson S. Association between tackling technique and head acceleration magnitude in youth football players. *Biomed Sci Instrum*. 54(1):39-45. 2018.
17. Harpham JA, Mihalik JP, Littleton AC, Frank BS, Guskiewicz KM. The effect of visual and sensory performance on head impact biomechanics in college football players. *Ann Biomed Eng*. 42(1):1-10. 2014.
18. Hislop MD, Stokes KA, Williams S, McKay CD, England ME, Kemp SPT, et al. Reducing musculoskeletal injury and concussion risk in schoolboy rugby players with a pre-activity movement control exercise programme: A cluster randomised controlled trial. *Br J Sports Med*. 51(15). 2017.
19. Hrysomallis C. Neck Muscular Strength, Training, Performance and Sport Injury Risk: A Review. *Sports Med*. 46(8):1111-1124. 2016.
20. Jeffries KK, Girouard TJ, Tandy RD, Radzak KN. Concussion-Prevention Strategies Used in National Collegiate Athletic Association Divisions I and II Women's Soccer. *J Athl Train*. 55(5):469-474. 2020.
21. Jones B, Tooby J, Weaving D, Till K, Owen C, Begonia M, et al. Ready for impact? A validity and feasibility study of instrumented mouthguards (iMGs). *Br J Sports Med*. 56:1171-1179. 2022.
22. Kamitani T, Nimura Y, Nagahiro S, Miyazaki S, Tomatsu T. Catastrophic head and neck injuries in judo players in Japan from 2003 to 2010. *Am J Sports Med*. 41(8):1915-1921. 2013.
23. Kang DY. Deep cervical flexor training with a pressure biofeedback unit is an effective method for maintaining neck mobility and muscular endurance in college students with forward head posture. *J Phys Ther Sci*. 27(10):3207-3210. 2015.
24. Kiefer AW, DiCesare C, Nalepka P, Foss KB, Thomas S, Myer GD. Less efficient oculomotor performance is associated with increased incidence of head impacts in high school ice hockey. *J Sci Med Sport*. 21(1):4-9. 2018.
25. Koshida S, Ishii T, Matsuda T, Hashimoto T. Kinematics of judo breakfall for osoto-gari: Considerations for head injury prevention. *J Sports Sci*. 2017 Jun 3;35(11):1059-1065.
26. Kung SM, Suksreephaisan TK, Perry BG, Palmer BR, Page RA. The Effects of Anticipation and Visual and Sensory Performance on Concussion Risk in Sport: A Review. *Sports Med Open*. 6(1):54. 2020.
27. Lockhart R, Blach W, Angioi M, Ambroży T, Rydzik Ł, Malliaropoulos N. A Systematic Review on the Biomechanics of Breakfall Technique (Ukemi) in Relation to Injury in Judo within the Adult Judo Population [Internet]. Vol. 19, *Int J Environ Res Public Health*. MDPI; 2022.
28. Mallory KD, Saly L, Hickling A, Colquhoun H, Kroshus E, Reed N. Concussion Education in the School Setting: A Scoping Review. *J Sch Health*. 92(6):605-618. 2022.
29. Mansell J, Tierney RT, Sitler MR, Swanik KA, Stearne D. Resistance training and head-neck segment dynamic stabilization in male and female collegiate soccer players. *J Athl Train*. 40(4):310-319. 2005.
30. Mao Y, Zhao D, Li J, Fu W. Incidence Rates and Pathology Types of Boxing-Specific Injuries: A Systematic Review and Meta-analysis of Epidemiology Studies in the 21st Century. *Orthop J Sports Med*. 11(3):23259671221127668. 2023.
31. Mihalik JP, Lynall RC, Wasserman EB, Guskiewicz KM, Marshall SW. Evaluating the "threshold Theory": Can Head Impact Indicators Help? *Med Sci Sports Exerc*. 49(2):247-253. 2017.
32. Mihalik JP, Guskiewicz KM, Marshall SW, Greenwald RM, Blackburn JT, Cantu RC. Does cervical muscle strength in youth ice hockey players affect head impact biomechanics? *Clin J Sport Med*. 21

- (5):416-421. 2011.
33. Murayama H, Hitosugi M, Motozawa Y, Ogino M, Koyama K. Ukemi technique prevents the elevation of head acceleration of a person thrown by the judo technique 'osoto-gari.' *Neurol Med Chir.* 60(6):307-312. 2020.
34. Ntikas M, Binkofski F, Shah NJ, Ietswaart M. Repeated Sub-Concussive Impacts and the Negative Effects of Contact Sports on Cognition and Brain Integrity. *Int J Environ Res Public Health.* 19(12). 2022.
35. Omalu BI, DeKosky ST, Minster RL, Kamboh MI, Hamilton RL, Wecht CH. Chronic traumatic encephalopathy in a National Football League player. *Neurosurgery.* 57(1):128-34; discussion 128-134. 2005.
36. Patricios JS, Schneider KJ, Dvorak J, Ahmed OH, Blauwet C, Cantu RC, et al. Consensus statement on concussion in sport: the 6th International Conference on Concussion in Sport-Amsterdam, October 2022. *Br J Sports Med.* 57(11):695-711. 2023.
37. Peek K, Versteegh T, Veith S, Whalan M, Edwards S, McKay M, et al. Injury-Reduction Programs Containing Neuromuscular Neck Exercises and the Incidence of Soccer-Related Head and Neck Injuries. *J Athl Train.* 58(6):519-527. 2023.
38. Peek K, Andersen J, McKay MJ, Versteegh T, Gilchrist IA, Meyer T, et al. The Effect of the FIFA 11+ with Added Neck Exercises on Maximal Isometric Neck Strength and Peak Head Impact Magnitude During Heading: A Pilot Study. *Sports Med.* 52(3):655-668. 2022.
39. Peek K, Elliott JM, Orr R. Higher neck strength is associated with lower head acceleration during purposeful heading in soccer: A systematic review. *J Sci Med Sport.* 23(5):453-462. 2020.
40. Prien A, Grafe A, Rössler R, Junge A, Verhagen E. Epidemiology of Head Injuries Focusing on Concussions in Team Contact Sports: A Systematic Review. *Sports Med.* 48(4):953-969. 2018.
41. Register-Mihalik J, Baugh C, Kroshus E, Y Kerr Z, Valovich McLeod TC. A Multifactorial Approach to Sport-Related Concussion Prevention and Education: Application of the Socioecological Framework. *J Athl Train.* 52(3):195-205. 2017.
42. Rowson S, Campoletano ET, Duma SM, Stemper B, Shah A, Harezlak J, et al. Accounting for Variance in Concussion Tolerance Between Individuals: Comparing Head Accelerations Between Concussed and Physically Matched Control Subjects. *Ann Biomed Eng.* 47(10):2048-2056. 2019.
43. Schmidt JD, Guskiewicz KM, Mihalik JP, Blackburn JT, Siegmund GP, Marshall SW. Does Visual Performance Influence Head Impact Severity Among High School Football Athletes? *Clin J Sport Med.* 25(6):494-501. 2015.
44. Schmidt JD, Guskiewicz KM, Blackburn JT, Mihalik JP, Siegmund GP, Marshall SW. The influence of cervical muscle characteristics on head impact biomechanics in football. *Am J Sports Med.* 42(9):2056-2066. 2014.
45. Shanley E, Thigpen C, Kissenberth M, Gilliland RG, Thorpe J, Nance D, et al. Heads Up Football Training Decreases Concussion Rates in High School Football Players. *Clin J Sport Med.* 31(2):120-126. 2021.
46. Sullivan L, Pursell L, Molcho M. Concussion-reporting behaviors among high school athletes in Ireland: Applying the theory of planned behavior. *Journal of Concussion.* 5:2059700221992951. 2021.
47. Swartz EE, Register-Mihalik JK, Broglio SP, Mihalik JP, Myers JL, Guskiewicz KM, et al. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Reducing Intentional Head-First Contact Behavior in American Football Players. *J Athl Train.* 57(2):113-124. 2022.
48. Swartz EE, Myers JL, Cook SB, Guskiewicz KM, Ferrara MS, Cantu RC, et al. A helmetless-tackling intervention in American football for decreasing head impact exposure: A randomized controlled trial. *J Sci Med Sport.* 22(10):1102-1107. 2019.
49. Swartz EE, Broglio SP, Cook SB, Cantu RC, Ferrara MS, Guskiewicz KM, et al. Early Results of a Helmetless-Tackling Intervention to Decrease Head Impacts in Football Players. *J Athl Train.* 50(12):1219-1222. 2015.
50. Tierney GJ, Denvir K, Farrell G, Simms CK. The Effect of Tackler Technique on Head Injury Assessment Risk in Elite Rugby Union. *Med Sci Sports Exerc.* 50(3):603-8. 2018.
51. Tierney RT, Sitler MR, Swanik CB, Swanik KA, Higgins M, Torg J. Gender differences in head-neck segment dynamic stabilization during head acceleration. *Med Sci Sports Exerc.* 37(2):272-279. 2005.
52. Yard EE, Collins CL, Dick RW, Comstock RD. An epidemiologic comparison of high school and college wrestling injuries. *Am J Sports Med.* 36(1):57-64. 2008.
53. Ylinen JJ, Julin M, Rezasoltani A, Virtapohja H, Kautiainen H, Karila T, et al. Effect of training in Greco-Roman wrestling on neck strength at the elite level. *J Strength Cond Res.* 17(4):755-759. 2003.
54. World Rugby integrates smart mouthguard technology to the Head Injury Assessment as part of new phase of global player welfare measures. World Rugby. 2023 [cited 2024 Jun 9].

著者紹介



越田専太郎 :

大学教員、アスレティックトレーナー、柔道の外傷・障害予防に関する研究者。現在は、マウスガード型慣性センサによる柔道選手の頭部衝撃曝露に関する研究を中心に取り組んでいる。NSCA ジャパン編集委員会委員。